

ผู้ควบคุมค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์อัตโนมัติสำหรับเครื่องปั้มน้ำในสวนผลไม้

Automatic Power Factor Controller for Water Pump in the Orchard

วุฒิไกร จันทร์ขามเรียน มารุต ชรรณวิริยะ และเกศกมล ตั้งใจชื่อ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

เลขที่ 131 หมู่ 10 ถนนบ่อราศนครู ตำบลพลวง อำเภอกาฬสินธุ์ จังหวัดจันทบุรี โทรศัพท์ 088-6903465 E-mail: wuthikrai_ch@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการควบคุมค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์อัตโนมัติสำหรับเครื่องปั้มน้ำในสวนผลไม้ เพื่อให้ระบบไฟฟ้ามีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ 0.85-1.0 (ล้าหลัง) โดยทำการทดสอบกับมอเตอร์ปั้มน้ำ 3 เฟส ที่ใช้กำลังไฟฟ้า 2-5 kVA ใช้วิธีการตรวจวัดสัญญาณผลต่างของรูปคลื่นแรงดันและกระแสในโหลด 3 เฟสแบบสมดุล เมื่อตรวจวัดได้ว่ามุมเฟสต่างกันเป็นผลให้ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำกว่า 0.85 จะส่งสัญญาณไปสับสวิตช์ตัวเก็บประจุเข้าต่อขนานกับโหลด โดยมีตัวเก็บประจุจำนวน 4 ชุด และจะทำงานทีละชุดจนกระทั่งค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ใกล้เคียง 1.0 (ล้าหลัง) มากที่สุด จากผลการทดสอบการทำงานแสดงให้เห็นว่า ผู้ควบคุมค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์อัตโนมัติสำหรับเครื่องปั้มน้ำในสวนผลไม้สามารถปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้มีค่า 0.97 (ล้าหลัง) ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1.0 (ล้าหลัง) ตามที่ออกแบบไว้

คำสำคัญ: ควบคุมค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์, เครื่องปั้มน้ำ, สวนผลไม้

Abstract

This paper presents the automatic power factor controller for water pump in the orchard. This paper purposes to provide the power system with 0.85-1.0 power factor (lagging). That is tested with 3-phase water pump at rated power of 2-5 kVA. The control is measuring the difference in voltage and current waveforms in a balanced 3-phase load. When it is measured that different phase angles result in a power factor of less than 0.85, it sends a signal to close the capacitor parallel to the load. There are 4 sets of capacitors and will work one at a time until the power factor is close to 1.0 (lagging). The experimental result show that the automatic power factor controller for water pump in the orchard can improve the power factor to 0.97 (lagging), which is close to 1.0 (lagging) as designed.

Keywords: power factor controller, water pump, orchard

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ซึ่งประชาชนส่วนใหญ่มีอาชีพหรือดำรงอยู่ได้โดยมีความเกี่ยวข้องกับการเกษตร ไม่ว่าจะเป็นทางด้านพืช สัตว์ ประมง เป็นต้น สำหรับพืชที่เป็นพืชเศรษฐกิจหลักของไทย ได้แก่ ข้าว ข้าวโพด สับปะรด ยางพารา ปาล์มน้ำมัน มันสำปะหลัง อ้อย และผลไม้ โดยในปัจจุบันไทยส่งออกผลไม้ไปยังจีนประมาณ 2-3 แสนตันต่อปี สินค้าผลไม้ ที่จีนอนุญาตให้นำเข้าจากไทยได้ มีจำนวน 23 ชนิด อาทิเช่น มีลำไย ทุเรียน มังคุด กุ้งแช่ ส้มโอ ลิ้นจี่ ชมพู เงาะ มะม่วง น้อยหน่า และลองกอง เป็นต้น [1] สวนผลไม้ต่าง ๆ นั้น มักจะมีขนาดใหญ่ จำนวนหลายไร่ และกินพื้นที่เป็นบริเวณกว้าง บางพื้นที่ใช้ระบบสูบน้ำขนาดใหญ่เพื่อสูบน้ำและส่งน้ำไปรดน้ำต้นไม้ทั่วพื้นที่ การสูบน้ำด้วยเครื่องสูบน้ำขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นโหลดที่ใช้กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (kVar) สูง ส่งผลให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าหรือเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor: PF.) มีค่าต่ำ ซึ่งในปัจจุบัน (ตั้งแต่ กรกฎาคม 2554 ที่ผ่านมา)

มีการเรียกเก็บในอัตรา 56.07 บาท/กิโลวัตต์ [2] โดยทางไฟฟ้าเองก็มีนโยบายหรือต้องการให้ผู้ใช้ไฟฟ้าปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้มีค่าตัวประกอบกำลังหรือเพาเวอร์แฟคเตอร์มากกว่า 0.85 เพื่อที่จะทำให้ประสิทธิภาพของการใช้งานระบบส่งจ่ายอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

ด้วยเหตุนี้เองผู้ใช้ไฟฟ้าที่ไม่ต้องการจะเสียค่าปรับค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์นี้หรือต้องการให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของตนเองดีขึ้น ก็จำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของตนเองให้มีค่ามากกว่า 0.85 ซึ่งจะทำให้ไม่ต้องเสียค่าปรับเพาเวอร์แฟคเตอร์ และประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าดีขึ้น อันเป็นผลให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของตนเองลดลงอีกด้วย

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดเพื่อที่จะอนุรักษ์พลังงาน และต้องการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุดเพื่อลดต้นทุนในการผลิตและลดปัญหาสิ่งแวดล้อมจากการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างสิ้นเปลือง จึงได้ศึกษา ค้นคว้าเพื่อให้ได้ข้อมูลและความรู้ที่จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการ

ติดตั้งตัวเก็บประจุไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้าสำหรับการเกษตร เพื่อปรับปรุงค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ให้ดีขึ้น ซึ่งจะช่วยลดค่าไฟฟ้า และลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศชาติได้

2. ทฤษฎีพื้นฐาน

2.1 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า (Power Triangle)

สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า ประกอบด้วยกำลังไฟฟ้า 3 ชนิด คือ [3]

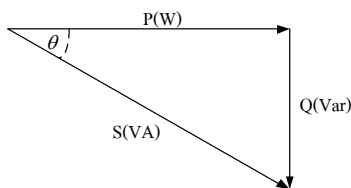
1) กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power หรือ True Power) คือ กำลังไฟฟ้าที่เกิดจากโหลดความต้านทาน มีหน่วยเป็น วัตต์ หรือกิโลวัตต์ (W หรือ kW) มีตัวย่อคือ P

2) กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive Power) คือกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากโหลดตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ มีหน่วยเป็น วาร์ หรือกิโลวาร์ (Var หรือ kVar) มีตัวย่อคือ Q

3) กำลังไฟฟ้าปรากฏ (Apparent Power) คือผลรวมทางเวกเตอร์ของกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟมีหน่วยเป็น โวลต์แอมแปร์ หรือกิโลโวลต์แอมแปร์ (VA หรือ kVA) มีตัวย่อคือ S

$$S = P + jQ$$

(1)



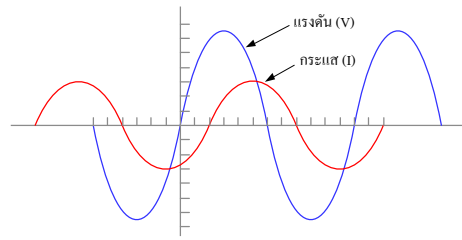
รูปที่ 1 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า (Power Triangle)

จากความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ และกำลังไฟฟ้าปรากฏ แสดงได้ว่า กำลังไฟฟ้าที่ทำให้เกิดงาน คือ กำลังไฟฟ้าจริง (kW) กำลังไฟฟ้าสูญเสีย คือกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (kVar) แต่กำลังไฟฟ้าที่ต้องใช้ทั้งหมดคือกำลังไฟฟ้าปรากฏ ดังนั้นถ้าลดมุม ให้เล็กลงได้มากเท่าไรก็จะทำให้ค่ากิโลวาร์ลดลงได้มากเท่านั้น ทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น และจำนวนกิโลโวลต์แอมแปร์ที่ต้องการก็จะลดลงมีขนาดใกล้เคียงกับกำลังไฟฟ้าจริง

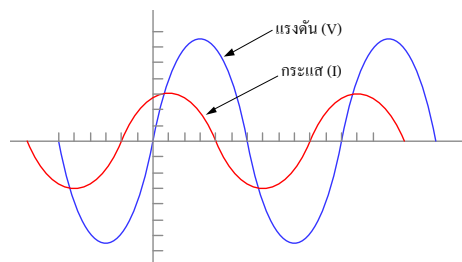
2.2 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าแบบนำหน้าหรือตามหลัง

ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าอาจเป็นแบบนำหน้า (Leading) หรือตามหลัง (Lagging) ก็ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเวกเตอร์ของกระแสไฟฟ้า (I) และเวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้า (V) โดยที่ [4]

- 1) ถ้ากระแสตามหลังแรงดัน : PF. จะเป็นแบบตามหลัง
- 2) ถ้ากระแสนำหน้าแรงดัน : PF. จะเป็นแบบนำหน้า



รูปที่ 2 กระแสตามหลังแรงดัน ตัวประกอบกำลัง Lagging

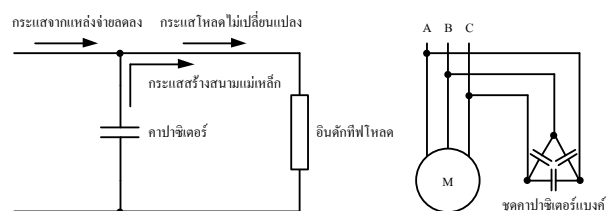


รูปที่ 3 กระแสนำหน้าแรงดัน ตัวประกอบกำลัง Leading

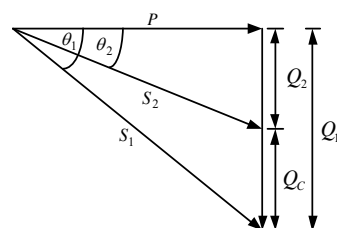
2.3 วิธีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

โดยปกติตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะเป็นแบบล่าช้า (Lagging) เนื่องจากโหลดส่วนใหญ่เป็นตัวเหนี่ยวนำ ดังนั้นเพื่อลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าโดยไม่จำเป็นจึงมีการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสามารถทำได้ 2 วิธี [3] คือ

- 1) การติดตั้งมอเตอร์ซิงโครนัส (Synchronous Motor)
- 2) การติดตั้งตัวเก็บประจุ (Capacitor Bank)



รูปที่ 4 รูปแบบการติดตั้งตัวเก็บประจุ 1 เฟส และ 3 เฟส ตามลำดับ



บทความวิจัย

วารสารเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

EENET Journal Vol. 2, No.1, Jan-Jun 2018

รูปที่ 5 สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้าของการปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์
เมื่อให้ θ_1 คือ มุมของเพาเวอร์แฟกเตอร์ก่อนปรับปรุง

θ_2 คือ มุมของเพาเวอร์แฟกเตอร์หลังปรับปรุง

Q_C คือ ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของตัวเก็บประจุ

P คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงของระบบ

V_{rms} คือ แรงดันไฟฟ้าของระบบ

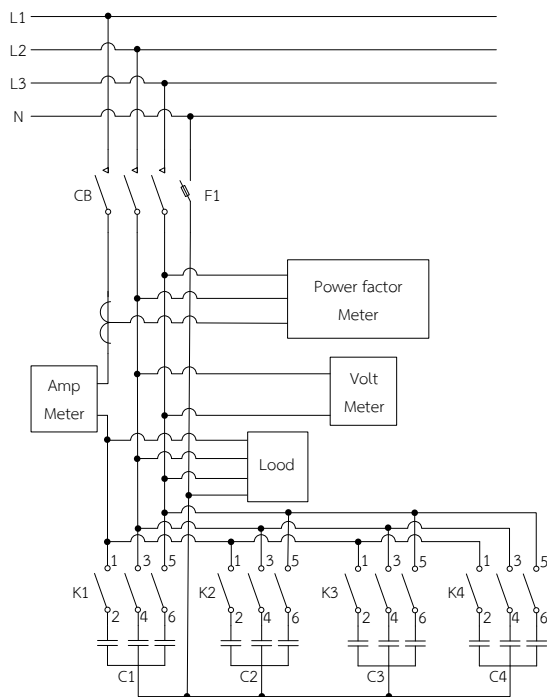
การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสามารถหาได้จาก [5]

$$Q_C = P(\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \quad (2)$$

$$C = \frac{Q_C}{\omega V_{rms}^2} \quad (3)$$

3. การออกแบบตู้ควบคุมค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์อัตโนมัติ

3.1 การออกแบบวงจร

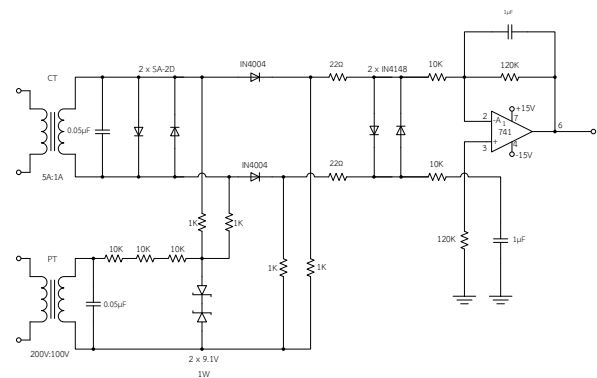


รูปที่ 6 วงจรกำลังของตู้ควบคุมค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์อัตโนมัติ

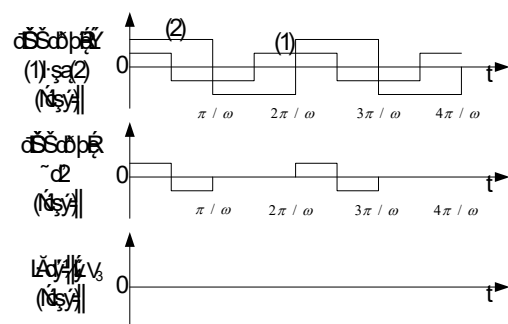
การต่อวงจรกำลังของตู้ควบคุมค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์อัตโนมัติ แสดงได้ดังรูปที่ 6 เริ่มจากสายส่งระบบ 3 เฟส ผ่านเซอร์กิตเบรกเกอร์เข้า เพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์เพื่อวัดค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของระบบ จากนั้น ต่อแอมป์มิเตอร์และโวลต์มิเตอร์เพื่อวัดแรงดันและกระแสไฟฟ้าของระบบ และต่อคาปาซิเตอร์ทั้ง 4 ชุดขนานกับระบบ โดยใช้แมกเนติก คอนแทคเตอร์ทำหน้าที่ต่อคาปาซิเตอร์เข้ากับระบบโดยมีรีเลย์จากวงจร

ควบคุมทำหน้าที่เปิด-ปิดแมกเนติกคอนแทคเตอร์เพื่อปรับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ให้เหมาะสม

จากรูปที่ 7 เป็นวงจรตรวจสอบสัญญาณผลต่างของค่าประกอบกำลังสำหรับไฟฟ้าสามเฟสที่มีภาระสมดุล (Balanced load) ซึ่งจะใช้หม้อแปลงแรงดัน (PT) และหม้อแปลงกระแส (CT) อย่างละ 1 ตัว เมื่อการมีค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับ 1.0 เวกเตอร์ของแรงดันสายไฟฟ้า เฟส A และ C กับเวกเตอร์ของกระแสในเฟส B จะตั้งฉากกัน ซึ่งมี เวกเตอร์ของกระแสหน้า 90 องศา ทำให้ได้รูปคลื่นของสัญญาณ กระแสจากหม้อแปลงกระแสที่จุด (1) สัญญาณแรงดันจากหม้อแปลง แรงดันที่จุด (2) สัญญาณแรงดันที่ขา 2 ของออปแอมป์ A_1 และแรงดัน เอาต์พุต V_3 ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 7 วงจรตรวจสอบสัญญาณผลต่างของค่าประกอบกำลังสำหรับระบบไฟฟ้าสามเฟสที่มีภาระสมดุล

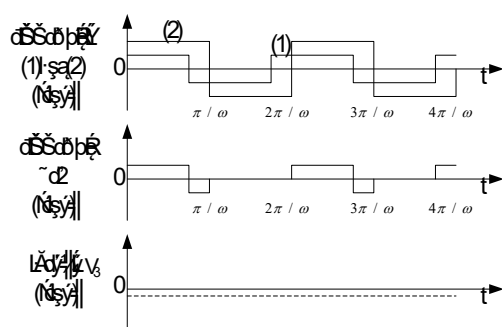


ก) ค่าตัวประกอบกำลังเท่ากับหนึ่ง

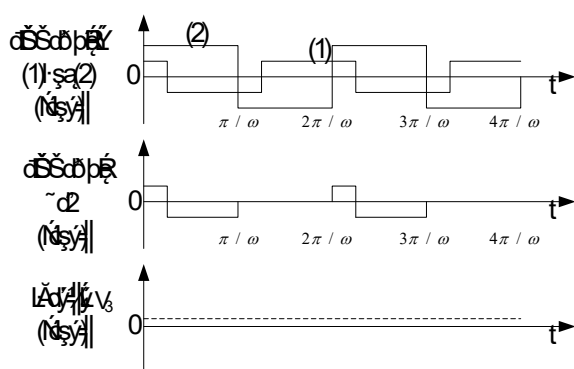
บทความวิจัย

วารสารเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

EENET Journal Vol. 2, No.1, Jan-Jun 2018



ข) ค่าตัวประกอบกำลังล่าช้า



ค) ค่าตัวประกอบกำลังนำหน้า

รูปที่ 8 รูปคลื่นของสัญญาณที่จุดต่าง ๆ

3.2 การออกแบบโครงสร้าง

โครงสร้างระบบควบคุมเพาเวอร์แฟกเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 9 เริ่มจากการออกแบบโครงสร้างของชุดตัวควบคุมและตัวคาปาซิเตอร์ โดยชุดตัวควบคุมจะมีความกว้าง 34 เซนติเมตร มีความสูง 47 เซนติเมตร และมีความลึก 14 เซนติเมตร และส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบ คือ ไวลต์มิเตอร์ แอมมิเตอร์ และเพาเวอร์แฟกเตอร์มิเตอร์ และส่วนของตัวคาปาซิเตอร์เบงก์ จะมีความกว้าง 40 เซนติเมตร มีความยาว 57 เซนติเมตร และมีความลึก 20 เซนติเมตร โดยมีไฟแสดงสถานะการทำงานของคาปาซิเตอร์เป็น 4 ขั้นตอน

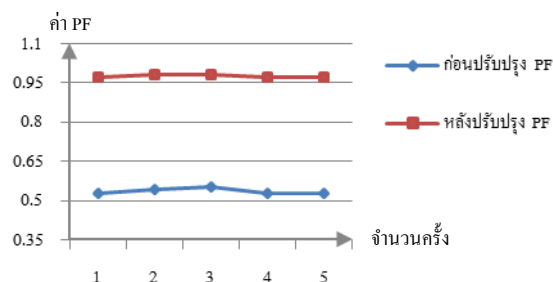


รูปที่ 9 โครงสร้างตัวควบคุมและตัวคาปาซิเตอร์เบงก์

4. ผลการทดลอง

จากการศึกษาการทำงานของเครื่องปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์อัตโนมัติ โดยใช้วงจรในการควบคุมการทำงานของคาปาซิเตอร์ ซึ่งสามารถทำการปรับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ให้ใกล้เคียง 1.0 และแสดงผลออกมาเป็นในรูปแบบอนาล็อกทั้งหน้าและล่าช้า

โดยทำการทดสอบกับโหลดมอเตอร์ 5 แรงม้า 3 เฟสทำการทดลอง 5 ครั้ง ซึ่งมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ขณะยังไม่ได้ขนานคาปาซิเตอร์เข้ากับระบบมีค่าอยู่ที่ 0.54 (ล่าช้า) จากนั้นทำการปรับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ด้วยตัวควบคุมค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์อัตโนมัติ ด้วยการสับคาปาซิเตอร์ขนานเข้ากับระบบจะทำให้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์มีค่า 0.97 (ล่าช้า)



รูปที่ 10 ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ก่อนและหลังปรับปรุงของมอเตอร์ 5 แรงม้า 3 เฟส

5. สรุป

จากการทดลองทดสอบกับโหลดมอเตอร์ 5 แรงม้า 3 เฟส ที่มีการทำการทดลอง 5 ครั้ง โดยมีค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์อยู่ที่ 0.54 (ล่าช้า) ก่อนทำการปรับปรุง เมื่อทำการปรับค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ด้วยตัวควบคุมค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์อัตโนมัติ ทำให้ได้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ 0.97 (ล่าช้า) ซึ่งแสดงว่าตัวควบคุมฯ สามารถทำงานได้ตามเงื่อนไขที่ออกแบบไว้ และสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทความวิจัย

วารสารเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

EENET Journal Vol. 2, No.1, Jan-Jun 2018

เอกสารอ้างอิง

- [1] ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร, ข้อมูลเศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=13577 (วันที่สืบค้น: 25 กุมภาพันธ์ 2561).
- [2] อัตราค่าไฟฟ้า, การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <https://www.pea.co.th/Portals/0/Document/Rate2015Update.pdf> (วันที่สืบค้น: 1 มีนาคม 2561).
- [3] การชดเชยตัวประกอบกำลังไฟฟ้า, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://eng.rtu.ac.th/ESD/ch12.pdf> (วันที่สืบค้น: 1 มีนาคม 2561).
- [4] คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน (โรงงาน) พ.ศ. 2553, [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : http://www2.dede.go.th/bhrd/old/Download/file_handbook/Pre_Fac/Fac_6.pdf (วันที่สืบค้น: 1 มีนาคม 2561).
- [5] Charles K. Alexander, & Matthew N.O. Sadiku. (2000). *Fundamental of Electric Circuits*. Singapore: McGraw-Hill.